

# 福岡空港混雑緩和を目的とした地方空港の利用可能性について

九州大学 学生会員 山田裕明

## 1 研究の背景と目的

北部九州都市圏では、福岡空港・北九州空港・佐賀空港という3つの空港がある。

福岡空港は就航路線数が多く福岡市内からのアクセスも良好なこともあり、利用者が国内有数の多忙な空港である。しかし、年間の離発着回数は、処理容量の年間14.5万回を上まわっており、この混雑状況を改善するという課題の解決が求められる。この課題の解決策として、滑走路増設案、新空港案、利用客分散案が挙げられている。

一方、北九州空港と佐賀空港は過少利用されており、就航路線が少なく利用客増加や運航数増加において余裕がある。北九州空港は、海上空港であるため24時間離発着が可能であり、早朝および深夜の便を利用するうえでは便利な空港である。また、佐賀空港もまた早朝および深夜の利用が可能であり貨物航空便としては九州一の拠点となっている。どちらの空港も今後の滑走路の延長や増設に対して比較的柔軟に対応することができる。

平成15～20年に実施された「福岡空港の総合的調査PIレポート」(以下、「PIレポート」と略す)においては、新空港建設や利用客の分散は現実的な解決策ではなく、滑走路の増設を解決策とする、という結果になっている。しかし、滑走路の増設を行っても、容量は約25%増加するだけであり、抜本的な解決とはならない。そこで、今回の分析では、利用者と空港だけの便益でなく、PIレポートでは考慮しなかった地域全体を含めた便益を考慮する。

したがって、本研究の目的としては、北九州空港や佐賀空港を利用し福岡空港の利用者を減らすことで、空港・地方・利用者にとってより良くなるのではないかという仮説が正しいか否かを示す。

## 2 扱うモデル

既存のBi-Level型ネットワーク均衡モデル(竹林ら2005)を応用して用いる。

- ・地方全体の利潤最大化
- ・旅客の不効用最小化

の二つの最適化問題を同時に扱うため、Bi-Level型と呼ばれる。以下、簡単にモデルの構造を示す。

### 2.1 変数の定義

以下に使用する変数を示す。

$rs$ : 起点  $r$ , 終点  $s$  の OD ペアを表わし,  $rs \in \Omega$

$n$ : トリップで利用する空港  $n$  を表わし,  $n \in N$

$k^{rs}$ : トリップ  $rs$  における経路を表わし,  $k^{rs} \in K^{rs}$

$i$ : 起点  $r$  から空港  $n$  までのリンクを表わし,  $i \in I^{rn}$

$l$ : 空港  $n$  から終点  $s$  までのリンクを表わし,  $l \in L^{ns}$

$x_k^{rs}$ : 起点  $r$  から終点  $s$  における経路  $k$  の旅客数

$x_i, x_l$ : リンク  $i, l$  の旅客数

$f_l$ : リンク  $l$  の運航頻度。

$\Gamma(x_k^{rs})$ : 旅客の最適行動を表わす関数

$\Pi(x_k^{rs}, f_l)$ : 地域全体を含めた便益を表わす関数

$\pi_n$ : 空港  $n$  の便益を表わす関数

$F_n^{\max}$ : 空港  $n$  における最大運航頻度

$X_{all}^{rs}$ :  $r$  から  $s$  への全トリップ数

$u_l$ : リンク  $l$  の一便当たりの利用可能座席数

$u_k^{rs}, u_i, u_l$ : 経路  $k$ , リンク  $i, l$  の不効用

$\delta_l^n$ : 空港  $n$  にリンク  $l$  を含むか否かの2値変数

$\delta_l^{k,rs}$ : トリップ  $rs$  における経路  $k$  にリンク  $l$  を含むか否かの2値変数

$\delta_i^{k,rs}$ : トリップ  $rs$  における経路  $k$  にリンク  $i$  を含むか否かの2値変数

$\theta, \alpha, \beta$ : 各モデルにおけるパラメータ

### 2.2 地域を含めた便益

地域を含めた便益の定式化に関しては、空港運営における便益から、空港混雑のコストと空港へのアクセスのしずらさのコストを引いたものを仮定する。それぞれを  $x_k^{rs}$  の関数として、 $C(x_k^{rs})$ 、 $D(x_k^{rs})$  とおく。 $C(x_k^{rs})$  は増加関数となる。このとき、地域全体としての便益の最大値は、次のような最適化問題の解として得られる。

Object:  $\Pi(x_k^{rs}, f_l) =$

$$\sum_{n \in N} (\pi_n(x_k^{rs}, f_l)) - C(x_k^{rs}) - D(x_k^{rs}) \rightarrow \max \quad (1)$$

Subject to

$$x_k^{rs} = \arg(\min : \Gamma(x_k^{rs})), \quad \text{for } \forall k \in K^{rs}, \quad \forall rs \in \Omega \quad (2)$$

$$\sum_{l \in L^{ns}} \delta_l^n f_l \leq F_n^{\max}, \quad \text{for } \forall n \in N \quad (3)$$

$$f_l \geq 0, \quad \text{for } \forall l \in L^{ns} \quad (4)$$

ただし、空港運営に関する便益は以下のように示されるものとする。

$$\pi_n(x_k^{rs}, f_l) = \sum_{l \in I^{ns}} \beta_1 \delta_l^n f_l - \beta_2 x_n + \text{FixBenefit} - \text{FixCost} \quad (5)$$

式 (5) に示されるように、空港  $n$  の運営の便益  $\pi_n$  は、各空港ごとの旅客数  $x_n$  と運航頻度  $f_l$  の関数と、 $\text{FixBenefit}$ ,  $\text{FixCost}$  で表わされる。この式の第一項は運航頻度が増加することによる着陸料収入の増加を表わし、第二項は旅客数が増加することによる空港維持運用費の増加を表わす。

### 2.3 旅客の行動

旅客行動の定式化に関しては、容量制約付き利用者均衡状態を仮定する。フライトあたりの座席数制約がある条件下では、旅客の利用者均衡状態は次のような最適化問題の解として得られる。

$$\text{Object} : \Gamma(x_k^{rs}) = \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} \left( \frac{1}{\theta} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + u_k^{rs} x_k^{rs} \right) \rightarrow \min \quad (6)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} = X_{all}^{rs}, \quad \text{for } \forall rs \in \Omega \quad (7)$$

$$x_l = \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} \delta_l^{k,rs} \leq \nu_l f_l, \quad \text{for } \forall l \in L^{ns} \quad (8)$$

$$x_i = \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} \delta_i^{k,rs}, \quad \text{for } \forall i \in I^{rn} \quad (9)$$

$$x_k^{rs} \geq 0, \quad \text{for } \forall k \in K, \quad \text{for } \forall rs \in \Omega \quad (10)$$

ただし、旅客の利用経路選択に関する不効用は以下のように示されるものとする。

$$u_k^{rs} = t^{rs} + \alpha_1 p_k^{rs} + \sum_l \frac{\alpha_2}{f_l} \delta_l^{k,rs} \quad (11)$$

式 (11) に示されるように、旅客の不効用  $u_k^{rs}$  は、経路  $k^{rs}$  で使用するリンクのコスト  $u_i, u_l$  の結合で示される。すなわち、所要時間  $t_i, t_l$ 、旅行費用  $p_i, p_l$ 、航空路線の頻度が少ないことによる不効用を表わす  $1/f_l$  の線形結合で表わされる。

## 3 旅客輸送市場への適応

### 3.1 基本設定

提案したモデルを北部九州都市圏発着の羽田便に適用し、滑走路容量制約の影響とアクセス費用軽減の影響分析を行う。基本設定を以下のように与える。

1. OD 交通量は不変であるとして、各起点は各地域の代表都市とする。
2. 空港アクセスに関しては、代表的交通機関による旅行時間、費用として採用する。
3. 一便当たりの利用可能座席数、航空運賃、旅行時間は与えられてるものとする。

次に、今回の分析で用いたデータは以下の通りである。

### 3.2 使用データ

OD 交通量に関しては旅客行動のパラメータを推定した時点 (平成 29 年 1 月) で利用可能であった国土交通省発行の「全国幹線旅客純流動調査」平成 22 年度版を用いた。航空旅客の行動に関しては国土交通省航空局発行の「国内航空旅客動態調査」を用いた。

モデルの再現性に関しては、平成 22 年 (2010 年) を対象とした。空港の便益と費用、旅客者数、運航頻度に関しては国土交通省航空局発行の「航空輸送統計年報」を用いた。一便当たりの利用可能座席数に関しては、各路線での代表的な投入機材の平均座席数を設定し、入力とした。

## 4 まとめ

今後、2 章の方法に従って分析していくものとする。パラメータ分析に関しては Stata、最適化問題の解の探索に関しては MATLAB をそれぞれ用いた。

## 参考文献

- [1] 福岡空港調査連絡調整会議 「福岡空港の総合的な調査 PI レポート ステップ 1~4」 (2006)
- [2] 竹林幹雄, 黒田勝彦 「関西 3 空港における国内航空旅客需要に関する研究」 (2009)
- [3] 国土交通省 「全国幹線純流動旅客調査」 (2010)
- [4] 国土交通省航空局 「国内航空旅客動態調査」 (2010)
- [5] 国土交通省航空局 「航空輸送統計年報」 (各年版)